

# ACTES DE SEMINAIRE DE CLOTURE DE LA PHASE 1 DES PROJETS DU RITA MAYOTTE (2015-2017)

14 au 16 mai 2018, Mayotte, France

(Coord. HUAT Joël)

## INNOVEG



## BIOFORM



## DEFI-ANIMAL

Juin 2019

# Intégration de plantes de services dans les systèmes de culture vivriers pour limiter l'enherbement et améliorer la fertilité des sols

Arnaud ROUILLARD<sup>1</sup>, Diane RAKOTOMANGA<sup>2</sup>, Joël HUAT<sup>1</sup>

1. CIRAD – UPR HORTSYS, Antenne de Mayotte, 43 rue de l'hôpital, BP1304 Kawéni, 97600 Mamoudzou, Mayotte, France.
2. CIRAD – UPR GECCO, Station de Neufchâteau, 97130 Capesterre-Belle-Eau Guadeloupe, France.

**Résumé.** – L'agriculture mahoraise est représentée majoritairement par des systèmes agricoles vivriers et traditionnels appelés « jardins mahorais » qui peuvent être décrits comme des systèmes agroforestiers, multi strates, associant diverses espèces de cultures alimentaires et forestières. Ces systèmes qui ne consomment presque aucun intrant chimique occupent plus de 90 % des surfaces cultivées et sont représentés essentiellement par la banane et le manioc. Ces productions sont confrontées à une baisse des rendements et de la fertilité des sols selon les agriculteurs. L'association de légumineuses à grains au bananier (var Kontriké) est évaluée depuis fin 2017 dans une parcelle d'agriculteur à Acoua en comparant 3 modalités répétées 3 fois : bananier + *Canavalia ensiformis*, bananier + *Vigna unguiculata*, bananier + sol nu. Les services écosystémiques recherchés par l'intégration de ces deux plantes de services dans le système bananier sont la lutte contre l'enherbement, l'amélioration de la fertilité du sol, la production de biomasse alimentaire (bananier et légumineuses). Les principales variables mesurées sont les composantes chimiques du sol et son activité biologique via la méthode du Tea Bag Index, la croissance et rendement du bananier et des légumineuses, le taux de recouvrement du sol par les plantes de service et leur biomasse aérienne fraîche et sèche, la durée du cycle de production.

**Mots-clés.** – Plantes de services, cultures vivrières, association culturale, légumineuses, bio-indicateurs, Tea Bag Index, jardin mahorais.

## INTRODUCTION

Aux vues des enjeux sociaux et sociétaux du millénaire, les modèles agricoles conventionnels traditionnels évoluent et de nouveaux systèmes agro-écologiques combinant et intégrant des dimensions écologiques, environnementales et sociales se développent. Les services rendus par ces nouveaux agro-systèmes sont multiples : (i) produire une ressource alimentaire et énergétique, (ii) réguler la qualité de l'eau et les variations climatiques, (iii) soutenir le cycle des éléments nutritifs (Millenium Ecosystem Assesment, 2005). Augmenter ces services au sein des systèmes agricoles est donc essentiel pour répondre à l'augmentation de la population planétaire tout en limitant les effets néfastes pour l'environnement (Foley et al., 2011). Ainsi, accroître la diversité de plantes au sein des systèmes agricoles, en augmentant le nombre d'espèces en rotation et/ou en diversifiant

spatialement le nombre d'espèces, à travers notamment l'association culturale, offre un intérêt significatif (Finney et al., 2016). La modification de la diversité fonctionnelle à travers l'association culturale permet de mieux gérer la flore parasitaire, d'enrichir le sol en éléments minéraux, et de mieux gérer les bio-agresseurs dans le cas d'un aménagement adéquat et adapté à la culture principale (Villeneuve et al., 2017).

À Mayotte, nous cherchons à évaluer les performances agronomiques et écologiques de systèmes maintenant ou intensifiant la diversité d'espèces dans le temps et l'espace. Le paysage agricole mahorais offre une lecture intéressante de modèles agro-écologiques, à travers des systèmes multi-espèces et arborés communément appelés « jardin mahorais ». Ces petites unités de productions agricoles sont de plus en plus soumises à des contraintes et pressions diverses

: (i) l'urbanisation croissante et l'augmentation de la population sur le territoire ; (ii) des difficultés d'accès au foncier limitant de fait la mise en valeur de ces systèmes ; (iii) une faible reconnaissance et valorisation de ce système de production ; (iv) des investissements agricoles limités ; (v) une dégradation de la fertilité des sols et des rendements des cultures (Moreau, 2016).

Ces systèmes de production vivriers où dominent la banane (consommée surtout en vert) et le manioc, existent cependant depuis des décennies et continuent à fournir des produits de l'alimentation de base des mahorais. L'augmentation durable de la production dans ces systèmes est donc nécessaire afin de répondre à l'accroissement démographique. L'une des voies agronomiques est la mise en œuvre d'itinéraires techniques innovants basés sur l'agriculture de conservation et la fertilisation organique des parcelles, permettant d'augmenter la biomasse produite tout en maintenant ou améliorant la fertilité des sols à long terme. Il s'agit notamment d'exploiter les services écosystémiques que certaines espèces végétales peuvent offrir au bénéfice de la gestion agronomique de la fertilité des sols pour les cultures vivrières, fourragères et maraîchères à Mayotte (Tillard et al., 2017). L'objectif est donc de contribuer à l'intensification écologique d'agrosystèmes multi-espèces en valorisant des fonctions écosystémiques de Plantes de Services (PdS)

Le choix des PdS fait écho aux travaux sur les savoirs et pratiques locales référencées (Vandamme et al., 2001 ; Chabierski, 2003 ; Autfray et al., 2004 ; Balandier, 2016 ; Froemer, 2017), ainsi que les traits de vie des PdS et leurs services écosystémiques (Deltreil, 2016).

La co-conception<sup>3</sup> de systèmes de culture à base de bananiers (consommé comme légume en vert) en association avec des légumineuses comme PdS a été décidée à l'issue d'un atelier comprenant divers acteurs : agriculteurs, techniciens, chercheurs afin de répondre aux besoins des producteurs : (i) maîtrise de l'érosion ; (ii) gestion de l'enherbement ; (iii)

amélioration/maintien de la fertilité des sols ; (iv) valorisation alimentaire ou pécuniaire de la PdS (Balandier., 2016 ; Froemer., 2017).

En prenant en compte ces paramètres, nous avons mis en place un essai en 2017 chez un producteur volontaire du GVA d'Acoua. Plusieurs hypothèses sont testées dans cet essai :

- La mise en place de PdS à cycle long ou à cycle court permet de maintenir une couverture permanente au sol (vivante en saison des pluies et morte en saison sèche) comparativement à un sol nu, et ainsi d'améliorer significativement l'activité biologique du sol cultivé (H1).
- La présence d'un couvert végétal ( $15 > C/N > 20$ ) influe positivement sur la régulation du taux de décomposition de la matière et sur la diminution du lessivage des éléments minéralisés au stade précoce de la décomposition, permettant ainsi de maintenir la composante azotée dans le sol (H2).
- L'association culturale avec des PdS en interrang permet de mieux gérer le développement des adventices (H3).

## MATÉRIEL & MÉTHODES

### Site

La parcelle identifiée pour l'essai est située dans la commune d'Acoua, chez M. OUSSENI Chadouli (S12°44'41.4" E45°03'15.3", 138 m d'altitude). Cette zone reçoit annuellement 1872 mm de précipitation et la température moyenne annuelle est de 27°C. Les antécédents culturaux sur cette parcelle indiquent le maintien d'une jachère depuis 2015. Sur cette parcelle, le sol est de type ferrallitique remanié, brunifié sur colluvions.

### Dispositif d'essai

La parcelle d'essai mesure 38,5 m par 37 m, dans laquelle sont implantées les PdS en association avec des bananiers, de manière aléatoire (box plot) par parcelle élémentaire de 11,5 par 11 m. Trois modalités ont été retenues pour l'essai et

<sup>3</sup> Co-conception : Méthode collaborative et participative utilisée pour développer un outil ou un service, le plus souvent innovant, impliquant l'utilisateur final

répétées dans trois blocs distincts (9 parcelles élémentaires au total). On retrouve : modalité 1 (VU) Association bananiers et *Vigna unguiculata* ; modalité 2 (CE) Associations bananiers et *Canavalia ensiformis* ; et modalité 3 (T) Aucune PdS en association et maintien d'un sol nu (Figure 1). Les deux légumineuses ont été retenues pour l'essai selon trois caractéristiques écosystémiques définis lors d'un atelier de co-conception avec les agriculteurs : capacité de fixation de l'azote ; quantité de biomasse produite ; taux de recouvrement (tableau 1). Pour toutes ces espèces, la disponibilité de semences ou de plants doit être vérifiée.

**Tableau 1.** Modalités techniques évaluées dans l'essai

| Modalité  | Description                            | Densité de semis    |      | Biomasse théorique |    |
|-----------|--|---------------------|------|--------------------|----|
|           |  | VU                  | CE   | VU                 | CE |
|           |  | kg ha <sup>-1</sup> |      | kg m <sup>2</sup>  |    |
| M1 – (VU) | Fixateur N2, contrôle de l'enherbement | 14,5                | -    | 0,8                |    |
| M2 – (CE) | Fixateur N2, contrôle de l'enherbement | -                   | 52,3 | 1,6                |    |
| M3 – (T)  | Témoin                                 | -                   | -    | -                  |    |

Des plants de bananier de la variété Kontriké, âgés de 3 mois environ, issus de la méthode PIF (plants issus de fragments de tige), ont été achetés auprès d'un pépiniériste. Ces plants sont sains et indemnes à la plantation du charançon *Cosmopolites sordidus* (Bruchon et al., 2015).

## Itinéraire technique

En décembre 2017, 15 jours avant l'implantation des bananiers PIF, l'élagage des grands arbres, le dessouchage et le sarclage de la parcelle ont été réalisés. Il s'agit d'une parcelle en friche sur laquelle se trouvaient de nombreuses repousses d'avocat marron (*Litsea glutinosa*), une dizaine d'arbres de plus ou moins grande taille de bois noir (*Albizia lebbek*), de tulipier du Gabon (*Spathodea campanulata*) et un grand fromager (*Ciba pentandra*) en bordure de parcelle. Tous les arbres n'ont pas été enlevés vue leur grande taille, mais élagué ou l'écorce enlevée à la base pour les faire mourir à

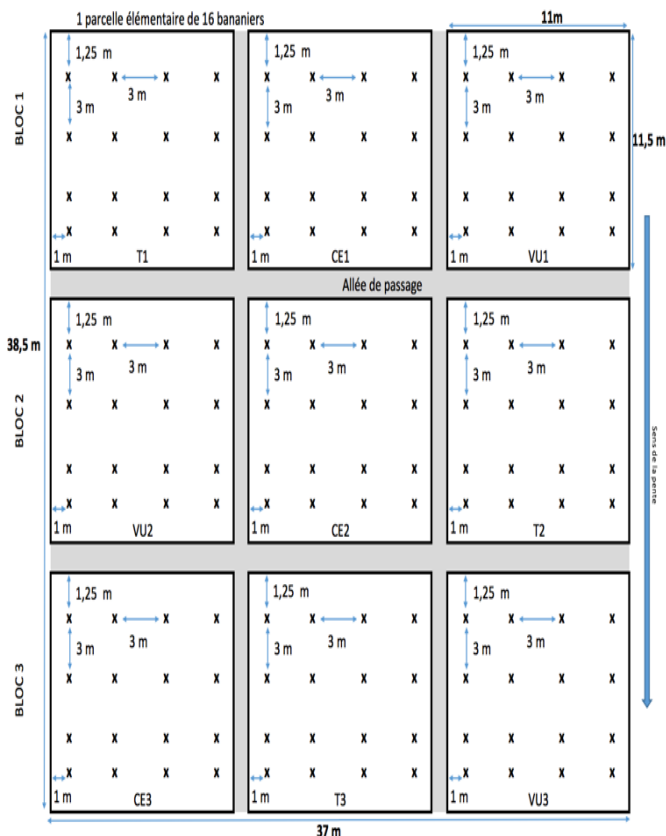
court terme. Le feuillage et le petit branchage de ces arbres ont été laissés au sol comme paillage. Dans le cas du témoin sol nu, les parcelles ont été désherbées toutes les deux semaines à l'aide d'une débroussailluse thermique, et les résidus ont été exportés hors de la parcelle et mis en tas en bordure.

Des prélèvements de sols ont été réalisés pour chaque parcelle élémentaire selon le protocole de prélèvement des plantes, des sols et des matières organiques (Tillard et al., 2017).

Le matériel végétal (bananier var. kontriké, *Vigna unguiculata*, et *Canavalia ensiformis*) a été préparé en amont de l'implantation, et un test de germination des semences de PdS a été réalisé afin de s'assurer d'une levée optimale. La parcelle a été délimitée à l'aide de piquets en bois de 140 cm peints de trois couleurs distinctes. Les bananiers de taille homogène (~30 cm) ont été plantés au trou de 30 cm de profondeur. La densité de plantation était de 1011 plants/ha ; écartement entre bananiers de 3 m sur la ligne et de 3 m entre les lignes. On compte par parcelle élémentaire 16 plants de bananiers, soit 144 plants sur l'essai. Du fumier de volaille bien décomposé a été apporté au trou lors de l'implantation à raison de 5690 kg/ha.

Les PdS ont été semées en saison des pluies au mois de janvier 2018. *Vigna unguiculata* a été semé à 40 cm x 40 cm, et a été espacé de 70 cm de chaque plant de bananier - 5 lignes de plantation par parcelle élémentaire. *Canavalia ensiformis* a été semé à 60 cm x 60 cm et espacés de 70 cm avec un plant de bananier - 4 lignes de plantation par parcelle élémentaire (Figure 1). Au stade levée et développement des feuilles (9-13 sur l'échelle BBCH), 5 kg ha<sup>-1</sup> de SLUXX® HP4 a été appliqué afin de lutter contre limaces et escargots. Aucun herbicide n'a été appliqué lors de l'implantation ou durant l'essai. Du stade floraison à fructification (60-80 sur l'échelle BBCH), 0,75 kg ha<sup>-1</sup> de Dipel DF® B(*Bacillus thuringiensis*) ont été appliqués sur les PdS pour lutter contre les attaques du ravageur *Apoderus humeralis*.

<sup>a</sup> Appâts granulés, à usage professionnel, constitués de phosphate ferrique et destinés à lutter contre les limaces et les escargots. SLUXX® HP agit par ingestion sur un grand nombre d'espèces de limaces et d'escargots, notamment sur les limaces grises et noires.



**Figure 1.** Plan de l'essai PdS et disposition des modalités (VU Association avec *V. unguiculata* ; CE Association avec *C. ensiformis* ; T Témoin)

## Variables mesurées et observées

Les observations et mesures effectuées se rapportent aux différentes hypothèses :

Pour H1 :

- (i) Mesure de l'activité biologique des sols par la méthode *du Tea Bag Index* (Keuskamp et al., 2013), La technique permet d'évaluer le taux de décomposition et le facteur de stabilisation de la matière, en utilisant des sachets standardisés de thé vert et de rooibos disponibles dans le commerce. Le Tea Bag Index permet de fournir une référence sur la décomposition de la matière dans le sol et a le potentiel d'accroître la fiabilité des estimations du flux de carbone dans

le sol<sup>5</sup>. Le matériel utilisé pour la confection des sacs de thé, en nylon tissé d'un maillage de 0,25 mm, permet le passage de la microfaune, des racines très

finies ainsi que des microbes (Bradford et al., 2002). Une étude récente montre que la variation du taux de dégradation de la matière dépend : (i) de la qualité de la matière utilisée (le thé vert se dégrade plus vite que le thé rooibos) ; (ii) de la somme des précipitations ainsi que du taux d'humidité enregistré dans un macro écosystème (Djukic et al., 2018). Les sachets de thé ont été mis en place sur chaque parcelle élémentaire à l'implantation des PdS, et retirés tous les mois.

- (ii) L'évolution du potentiel hydrique du sol à travers un relevé tensiométrique journalier. Afin de compléter les données du TBI, un TinyTag Plus2 (-25 à +85°C / 0 à 100 % humidité) a été installé à proximité de la parcelle d'essai, ainsi que des cannes tensiométriques SMS équipées complètes, à 25 cm et 55 cm de profondeur pour mesurer le potentiel hydrique des parcelles et vérifier si il y avait une compétition pour l'eau entre les bananiers et les PdS.

Pour H2 :

- (i) Mesure de la quantité totale d'azote dans la matière organique et dans le sol avant et après la culture des PdS.
- (ii) Mesure de la quantité des éléments minéraux majeurs disponibles dans le sol (N, P, K, Ca, Mg) et dans le matériel végétal (bananier et PdS) avant et après la culture des PdS.

Des échantillons de sols sont prélevés sur chaque parcelle élémentaire en fin de campagne culturale et les principales caractéristiques déterminées par le labo du CIRAD (pHeau, N, P, K, C, C/N, CEC, bases échangeables). En fin de campagne, un échantillon de PdS est également prélevé dans chaque parcelle pour les analyses foliaires, et le reste des

<sup>5</sup> Pour cette méthode, utiliser uniquement des sachets de thé Lipton Green tea (EAN : 87 22700 05552 5) et Lipton Rooibos tea (EAN : 87 22700 18843 8) ; Fournisseur : Dutchsupermarket.com



plantes est fauché et laissé au sol comme paillage.

Pour H3 :

- (i) Relevés floristiques dans chaque parcelle tous les 15 jours : richesse spécifique (Tableau 2), taux de recouvrement de chacune des espèces présentes (Annexe 1).
- (ii) Mesure tous les 15 jours du diamètre du pseudo tronc du bananier dans chaque parcelle, du nombre de feuilles et le rendement par plant (tableau 2) à travers un relevé bimensuel.
- (iii) Mesure du rendement de chaque PdS. Un prélèvement de biomasse aérienne a été réalisé sur 1 m<sup>2</sup> (5 plants au moins) sur les PdS au stade floraison (60-69 sur l'échelle BBCH) et au stade sénescence (97-99 sur l'échelle BBCH). Le stade cultural est avéré quand il est atteint par au moins 50% de la culture. Au stade de maturation du grain (85-89 sur l'échelle BBCH), les gousses ont été récoltées sur chaque parcelle élémentaire, et le rendement en grains a été calculé.

Les relevés seront faits chaque année durant la période de culture des PdS en saison sèche et en saison des pluies.

Les observations et mesures sont listées dans le tableau 2.

- Prélèvements de sols (0-20 cm) pour analyse au laboratoire, avant et après culture : C, N tot, C/N, Passi, CEC, pH eau, granulométrie. Les prélèvements ont été effectués par 6 carottages à 20 cm de profondeur sur chaque placette, mélangés et homogénéisés par traitement et échantillonnés pour analyse.
- Relevés de toutes les opérations culturales (dates, quantités d'intrants apportées) pour reconstituer l'itinéraire technique des cultures.
- Durée du cycle de culture : plantation-floraison ; floraison-récolte ; début de récolte-fin de récolte.

- Mesure de la densité de plantation (kg ha<sup>-1</sup>)
- Mesure de croissance du plant (16 plants par parcelle élémentaire) : circonférence du pseudo-tronc à 50 cm du sol tous les 30 jours (en cm).

**Tableau 2.** Liste des observations et mesures faites dans l'essai

| VARIABLES  | FRÉQUENCE D'OBSERVATION                                 |
|--|---|
| <b>CROISSANCE DES BANANIER (POUR CHAQUE BANANIER)</b>                  |   |
| Diamètre du pseudotrunc à 50 cm du sol (cm)                            | Tous les mois   |
| Date de plantation du bananier   |   |
| Date d'émergence de la jetée   |   |
| Date de récolte  |   |
| Nombre de rejets/tige  | 6 mois après plantation                                 |
|  | À la récolte  |
| Nombre de feuilles vertes/plant (à 3 mois/6 mois et à la récolte)      | Tous les 3 mois   |
| <b>COMPOSANTES DU RENDEMENT (POUR CHAQUE BANANIER)</b>                 |   |
| Nombre de mains/régime   | À la récolte  |
| Nombre de doigts/main  | À la récolte  |
| Poids du régime (kg)   | À la récolte  |
| <b>COMPOSANTES DU MILIEU</b>   |   |
| Température  | Tous les jours  |
| Pluviométrie   | Tous les jours  |
| <b>COMPOSANTES DU COMPARTIMENT SOL</b>                                 |   |
| Analyses de sol  | 1 semaine avant/après l'implantation des PdS (4-7 mois) |
| Analyse de la matière organique (M.O) utilisée                         | 1 semaine avant épandage (une analyse par M.O utilisé)  |
| <b>SUIVI DE L'ENHERBEMENT (pour chaque parcelle élémentaire)</b>       |   |
| Nombre d'espèces présentes (richesse spécifique)                       | Tous les 15 jours                                       |
| Taux de recouvrement global du sol (%)                                 | Tous les 15 jours                                       |
| Taux de recouvrement de chaque espèce (%)                              | Tous les 15 jours                                       |
| <b>SUIVI DES PLANTES DE SERVICE (pour chaque parcelle élémentaire)</b> |   |
| Port des PdS (étalé, érigé, lianescent ...)                            | Tous les 15 jours                                       |
| Taux de recouvrement de chaque PdS (%)                                 | Tous les 15 jours                                       |
| Date de levée  |   |
| Date de floraison  |   |
| Date de fructification   |   |
| Date de sénescence   |   |
| Poids biomasse fraîche (sur 5 plants)                                  | Au stade 60-69 sur l'échelle BBCH                       |
| Poids biomasse sèche (sur 5 plants)                                    | Au stade 60-69 sur l'échelle BBCH                       |
| Poids biomasse fraîche (sur 5 plants)                                  | Au stade 97-99 sur l'échelle BBCH                       |
| Poids biomasse sèche (sur 5 plants)                                    | Au stade 97-99 sur l'échelle BBCH                       |
| Évaluation du rendement (kg/m <sup>2</sup> )                           | À la récolte  |
| <b>SUIVI DE L'ACTIVITÉ BIOLOGIQUE DU SOL</b>                           |   |
| Poids moyens de 5 sachets (sans thé)                                   |   |
| Poids moyens du thé de 5 sachets                                       |   |
| N° sachet / Modalité / Bloc / Sites                                    |   |
| Date d'implantation  |   |
| Poids du sachet avant implantation                                     | Avant implantation                                      |
| Ombrage (de 1 à 5)   | À l'implantation  |
| Végétation présente  | À l'implantation  |
| Texture du sol (limon, argile, sable)                                  | À l'implantation  |
| Type de sol  | À l'implantation  |
| État du sol (humide, sec)  | À l'implantation  |
| Profondeur d'enterrement (cm)  | À l'implantation  |
| Pente (%)  | À l'implantation  |
| Poids du sachet de thé (après 48h à 70°C)                              | 60 jours après l'implantation                           |
| Poids du thé (après 48h à 70°C)  | 60 jours après l'implantation                           |

- Poids de la production récoltée pour chaque récolte par parcelle élémentaire (tous les plants) ;
- Production moyenne par pied et poids moyen du régime (kg) ;
- Mesure de la richesse spécifique et du taux de recouvrement de chaque espèce présente ;
- Mesure de la quantité de biomasse produite par les PdS ( $\text{kg m}^2$ ) ;
- Mesure de l'activité biologique du sol par la méthode du Tea Bag Index ;
- Relevé des données climatiques (température et pluviométrie) sur le site à l'aide d'un TinyTag6.
- Relevé des données hydriques sur chaque parcelle élémentaire à l'aide de cannes tensiométriques.



**Figure 2.** Sachet de thé vert et sachet de thé Rooibos utilisé pour le Tea Bag Index

## Description des méthodes utilisées

### 1. Protocole du Tea Bag Index (TBI)

1. Mesurer le poids initial d'au moins 5 sachets de thé et soustraire leurs poids de l'emballage (sacs non-tissé, ficelle et étiquette) pour déterminer le poids initial du thé.
2. Mesurer la perte de poids de thé de 5 sachets après 48h à 70°C à l'étuve.

3. Marquer les sachets de thé vert (Gt) et de thé Rooibos (Rt) au marqueur noir permanent.
4. Peser les sachets de thé avant la mise en place sur la parcelle avec une balance de précision classe II minimum (0,01g).
5. Par parcelle élémentaire, prévoir deux sachets de thé vert et deux sachets de thé rooibos. Sur  $1 \text{ m}^2$ , enfouir à 8 cm de profondeur un sachet de thé vert et un sachet de thé rooibos. Séparer d'au moins 10 cm les deux sachets de thé. Répéter l'opération aléatoirement sur un autre  $1 \text{ m}^2$  de la parcelle élémentaire. Conserver les étiquettes bien visibles au-dessus du sol. Marquer le lieu d'enfouissement à l'aide d'un piquet.
6. Noter les données relatives aux indicateurs (cf. Collecte de données).
7. Retirer délicatement les sachets après 60 jours maximum (relatif en milieu tropical).
8. Enlever les particules de sol qui adhèrent aux sachets.
9. Sécher les sachets pendant 48h à 70 °C à l'étuve.
10. Peser les sachets avec ficelle-étiquette et sans ficelle-étiquette.
11. Ouvrir le sac et retirer le thé du sac. Peser seulement le thé.
12. Calculer le facteur de stabilisation  $\boxtimes$  et le taux de décomposition  $k$  avec l'équation :

$$W(t) = ae^{-kt} + (1 - a)$$

W = poids du substrat

t = temps d'incubation

a = valeurs de labile

1-a = fraction récalcitrante de la portée

k = constante de vitesse de décomposition k

13. Enregistrer les données dans une base de données en inscrivant [N° sachet - Modalité - Bloc - Site - Date de l'enfouissement - Date de prélèvement - Poids du sachet sec<sup>7</sup> - Poids du thé sec<sup>8</sup> ].

<sup>6</sup> Enregistreurs de données permettant de surveiller et d'enregistrer automatiquement des paramètres de température et d'humidité au fil du temps, ce qui permet de mesurer, documenter, analyser et valider les conditions ambiantes. Les informations

stockées dans l'enregistreur sont ensuite transférées sur un ordinateur en vue d'être analysées.

<sup>7</sup> Poids du sachet après 48h à 70°C dans l'étuve

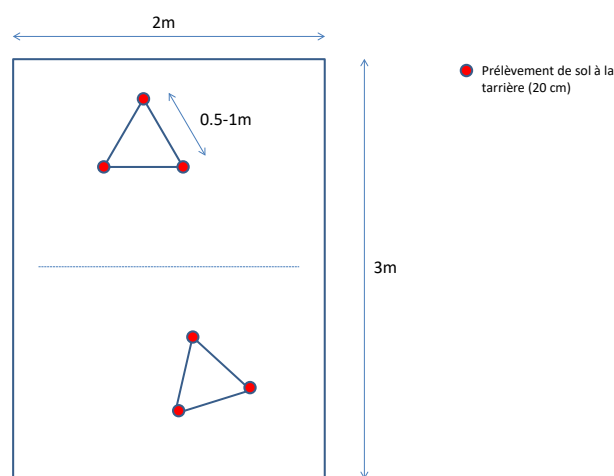
<sup>8</sup> Poids du thé après 48h à 70°C dans l'étuve

## 2. Analyses de sol et biomasses

Le protocole de prélèvement des plantes, d'échantillons de sol et des matières organiques a été élaboré dans le cadre de l'action 2 du projet BIOFERM (Tillard et al., 2017). Pour l'essai, un prélèvement de sol est réalisé en début et en fin de cycle de PdS (4-7 mois).

### Prélèvements de sol

Le schéma d'échantillonnage pour chacune des 9 sous-parcelles est précisé dans la figure suivante (figure 3). Le choix des emplacements de triangle est aléatoire.



**Figure 3.** Echantillonnage du sol pour chacune des 9 sous-parcelles

Les prélèvements de sol se font à l'aide d'une tarière, sur un horizon 0-20 cm (tarière standard). Celui-ci doit être effectué sur un sol à nu (il est recommandé de « nettoyer » le sol des cultures et résidus présents sur la zone de prélèvement).

Afin d'éviter le traitement d'un échantillon contaminé (fèces, etc.), le protocole sera de prélever trois carottes de sol, espacées de 1 m chacune (triangle de 1x1m ou prélèvement linéaire à intervalle d'un mètre dans le cas d'un échantillonnage sur sillon par exemple). On veillera à bien enfoncer la tarière sur 20 cm et le cas échéant réaliser le forage (même trou) en 2 ou 3 fois si nécessaire, notamment sur sol sec. La liste du matériel nécessaire est indiquée dans le tableau 3.

**Tableau 3.** Liste du matériel nécessaire pour les prélèvements de sol

| Matériel nécessaire                      | Renouvellement |
|--|----------------|
| Tarière                                  |                |
| Pointe métal ou couteau (évider tarière) |                |
| Bâche / bac plastique                    |                |
| Sachets plastiques étanches              | X              |
| Fiche Bristol                            | X              |
| Feutres indélébiles                      | X              |
| Crayons à papier                         |                |

Les 6 prélèvements de sol pour une même sous-parcelle seront rassemblés et placés dans une bâche ou un bac plastique ; le tout sera mélangé, homogénéisé et placé dans un sac plastique, fermé, et étiqueté (nom, date, code parcelle et espèce cultivée).

### Au laboratoire

La première chose à faire pour un prélèvement donné est d'ajouter un enregistrement au cahier de labo SOL : [code labo - Exploitant - Date de prélèvement - code de la parcelle - Espèces cultivées - Poids brut<sup>9</sup> - Poids sec<sup>10</sup> - Date d'envoi].

Le code labo sol commencera par la lettre S et sera incrémenté à chaque nouveau prélèvement (Sx pour le Xe prélèvement de sol) pour le différencier des codes Fourrage (Fx), matière organique (Ox) et Plantes (Px). Le prélèvement Sx est étalé dans une barquette en aluminium propre, en couche fine (2 cm), et pesé. Le poids (sans la barquette) est aussitôt indiqué dans le cahier de labo (Figure 2). Puis le prélèvement est laissé à la température ambiante du laboratoire durant 5 jours, pour un séchage lent, avec 2-3 retournements durant ces 5 jours (à l'aide d'un couteau). Dans chaque barquette et pendant toute la durée du séchage, le prélèvement Sx est tracé avec une étiquette bristol portant uniquement le code labo et la date de prélèvement (mise au séchage). Au bout de 5 jours, le sol séché est placé dans 2 pots à bouchon rouge et portant une étiquette sur laquelle figurera le code labo (ou marqueur indélébile). Ces pots sont stockés à température ambiante à l'abri de la lumière. Un de ces 2 pots sera envoyé au LRI de Madagascar et l'autre restera stocké

<sup>9</sup> Poids de l'éléments avant séchage pendant 2 jours à 65°C.

<sup>10</sup> Poids de l'éléments après séchage pendant 2 jours à 65°C.



à Dombéni en doublon. La liste du matériel nécessaire est indiquée dans le tableau 4.

**Tableau 4.** Liste du matériel nécessaire pour le traitement des échantillons de sol au laboratoire

| Matériel nécessaire                  | Renouvellement |
|--------------------------------------|----------------|
| Cahier de labo SOL                   |                |
| Balance                              |                |
| Barquette en alu (15 x 20)           | X              |
| Petit plantoir ou couteau            |                |
| Fiche Bristol                        | X              |
| Feutres indélébiles                  | X              |
| Crayons à papier                     |                |
| Pots à bouchon rouge (10 cm de haut) | ↑ Nb pots      |

L'analyse comprendra les éléments suivants : MS 105 °C, Carbone organique, N total (Dumas), CEC (capacité d'échange cationique), pH, pH KCL, P, K, Mg, Na, Ca.

#### *Prélèvement des biomasses*

Pour les plantes de services, on effectuera une coupe sur l'ensemble des sous-parcelles d'une même parcelle. La coupe s'effectuera au stade floraison (60-69 sur l'échelle BBCH) atteinte par plus de 50% de la PdS étudiée. Pour chaque sous-parcelle, couper les PdS sur 1 m<sup>2</sup> (avec un minimum 5 plants) de la sous-parcelle ; la PdS sera coupée à une hauteur de 10 cm au-dessus du sol à l'aide d'un sécateur. Puis, peser le poids de la biomasse coupée dans chaque sous-parcelle (balance, peson), placer dans un sac plastique, et noter le résultat sur la feuille terrain « Biomasse ». Fermer, étiqueter (nom, date, code parcelle et espèce cultivée) et placer dans une glacière à 4°C. La liste du matériel nécessaire est indiquée dans le tableau 5.

**Tableau 5.** Liste du matériel nécessaire pour le prélèvement des biomasses

| Matériel nécessaire | Renouvellement |
|---------------------|----------------|
| Sécateur            |                |
| Balance / peson     |                |
| Sachets plastiques  | X              |
| Fiche bristol       | X              |
| Feutres indélébiles | X              |
| Crayons à papier    |                |

#### *Au laboratoire*

La première chose à faire pour un prélèvement donné est d'ajouter un enregistrement au cahier

de labo FOURRAGE : [code labo - Exploitant - Date de prélèvement - code de la parcelle - Espèces cultivées - Poids brut - Poids sec - Date d'envoi]. Le code labo commencera par la lettre P et sera incrémenté à chaque nouveau prélèvement (Px pour le X<sup>ème</sup> prélèvement de biomasse) pour le différencier des codes sol (Sx), matière organique (Ox) et Fourrage (Fx).

Le prélèvement Px préalablement pesé est tout d'abord broyé à l'aide du Viking GE103. Remplir un sous-échantillon suffisant pour une barquette en aluminium. Peser le sous-échantillon broyé (indiquer dans le cahier de labo fourrage le poids sans le sachet dans la colonne « poids brut ») et placer au séchage dans l'étuve, 2 jours à 65°C. Une fois séché, noter le poids sec dans le cahier de laboratoire (colonne « poids sec ») ; puis effectuer un double broyage, à l'Electrolux et au Broyeur FOSS. Placer la poudre dans 2 pots plastiques de 125 ml (6 cm de hauteur), étiqueter et conserver à température ambiante et à l'abri de la lumière. Un des pots sera stocké et l'autre sera envoyé dans un laboratoire à l'extérieur de Mayotte (Montpellier ou Antananarivo) (tableau 6).

**Tableau 6.** Liste du matériel nécessaire pour le conditionnement des biomasses prélevées

| Matériel nécessaire                 | Renouvellement |
|-------------------------------------|----------------|
| Cahier de labo FOURRAGE             |                |
| Étuve                               |                |
| Balance                             |                |
| Broyeur Viking GE103                |                |
| Broyeur Electrolux                  |                |
| Broyeur FOSS                        |                |
| Pinceau à poil dur (nettoyage FOSS) | X              |
| Fiche Bristol                       |                |
| Feutres indélébiles                 |                |
| Crayons à papier                    |                |
| Pots plastiques de 125ml            | Nb de pots     |

L'analyse comprendra les éléments suivants : MSr 105°C (mat. sèche résiduelle à 105°C (étuve)) ; N Dumas (azote total (Dumas) (analyseur élémentaire) exprimé en N) ; C tot (carbone total (Analyseur élémentaire) exprimé en C) ; P tot (phosphore total (dosage en SFA) exprimé en P) ; K tot (potassium total (dosage en SAA) exprimé en K) ; Ca tot (calcium total (dosage en SAA) exprimé en Ca) ; Mg tot (magnésium total (dosage en SAA) exprimé en Mg).

## ANALYSES DE DONNEES

Les analyses statistiques ont été faites avec le logiciel R. Les données quantitatives (analyses de sol, analyses de biomasse, analyse Tea Bag Index) ont fait l'objet de test paramétrique d'analyse de variance (ANOVA) si les données suivent une loi normale (Shapiro-Wilk) et qu'il existe une homogénéité des variances (test d'homoscédasticité Bartlett). Si les tests ne suivaient pas les conditions d'application d'une ANOVA, alors ont été utilisés les tests non paramétriques de Kruskal-Wallis et de Wilcoxon.

Les données d'indicateurs agronomiques (évolution de la croissance du bananier, rendements du bananier, évolution de la richesse spécifique et du taux de recouvrement des espèces présentes) ont fait l'objet d'analyses statistiques descriptives. Une comparaison des moyennes avec la prise en compte des écarts types permet de comparer les résultats obtenus entre modalités la durée de l'essai d'année en année.

## BIBLIOGRAPHIE

- Autfray P., Ferlat C., Chadouli O., Vandamme A. 2004. Perception et utilisation par les paysans d'espèces végétales spontanées à Mayotte. *Naturalistes, Historiens et Géographes de Mayotte* 9, 27-37.
- Balandier M.L. 2017. Co-designing innovative cropping systems using cover crops. *Minor thesis report Wageningen University & Research, CIRAD*.
- Bradford M.A., Tordoff G.M., Eggers T., Jones T.H., Newington J.E. 2002. Microbiota, fauna, and mesh size interactions in litter decomposition. *Oikos* 99, 317-323.
- Bruchon L., Le Bellec F., Vanniere H., Ehret P., Vincenot D., De Bon H., Marion D., Deguine J.P. 2015. Guide Tropical – Guide pratique de conception de systèmes de culture tropicaux économes en produits phytosanitaires. *Le Bellec F. (Ed.), CIRAD, Paris*.
- Chabierski S. 2003. Systèmes de culture et pratiques paysannes à Mayotte : quelles perspectives pour les systèmes à base de couverture végétale ? *Mémoire de fin d'études ingénieur. CNEARC (Montpellier), CIRAD*.
- Deltreil V. 2016. Mise en place d'une collection de plante de service locale et caractérisation des traits de vie à Mayotte. *Stage de césure Agro ParisTech, CIRAD*.
- Djukic I., Kepfer-Rojas S., Schmidt I.K., Larsen K.S., Beier C., Berg B., Verheyen K. 2018. Early Stage Litter Decomposition across Biomes. *Science of the Total Environment* 628, 1369-94.
- Dumas J.B.A. 1831. Procédés de l'analyse organique. *Annales des Chimie et des Physique* 47(2), 198-213.
- Finney D.M., White C.M., Kaye J.P. 2016. Biomass Production and Carbon/Nitrogen Ratio Influence Ecosystem Services from Cover Crop Mixtures. *Agronomy Journal* 108, 39-52.
- Foley J.A., Ramankutty N., Brauman K.A., Cassidy E.S., Gerber J.S., Johnston M. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature*. London. (Ed.), 47, 337-342.
- Froemer H. 2017. Co-conception de systèmes de culture innovants à Mayotte, gestion de la fertilité des sols en bananeraie par l'utilisation de plantes de services. *Stage de césure Agro ParisTech, CIRAD*.
- Joost A.K., Bas J.J.D., Taru L., Sarneel J.M., Hefting M.M. 2013. Tea Bag Index: A Novel Approach to Collect Uniform Decomposition Data across Ecosystems. *Methods in Ecology and Evolution* 4, 1070-1075.
- Millenium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and human well-being: Synthesis. Island Press. *Washington DC*. (Ed.).
- Moreau C. (2016). Restauration de la fertilité et limitation de l'érosion des sols : conception d'essais expérimentaux par une méthode de co-développement. *Stage de fin d'études ingénieur VetAgro Sup, GVA d'Acoua*, 95 p
- Tillard E., Huat J., Thuries L., Rakotomanga D., Aïcé I., Touffa M., Yahaya N. 2017. Protocole d'essai - Action 2 « Evaluation de l'impact agronomique et environnemental de la fertilisation organique des parcelles de culture fourragère, vivrière et maraîchère ». *CIRAD*.

Vandamme A. 2001. Diagnostic sur les espèces spontanées à Mayotte. Perception et utilisation de ces espèces par les paysans. Quelques conséquences sur la mise au point de systèmes agro-écologiques. *Mémoire de fin d'études ingénieur ISTOM*, CIRAD, 91 p.

Villeneuve F., Picault S., Trottin-Caudal Y., Delporte M. 2017. La maîtrise des bio-agresseurs dans un contexte de réduction des produits phytopharmaceutiques : Focus sur l'utilisation des plantes de service. *Innovations Agronomiques* 61, 5-24